

Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 55 (1987)

Artikel: Bemessungskonzept für Last und Zwang im Massivbau
Autor: Puche, Manfred / König, Gert / Fehling, Ekkehard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-42725>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 08.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Bemessungskonzept für Last und Zwang im Massivbau

Design Concept for Reinforced Concrete under Loads and Imposed Deformations

Dimensionnement des structures en béton sous charges et déformations imposées

Manfred PUCHE

Dipl. - Ing.
TH Darmstadt
Darmstadt,
Bundesrep. Deutschland



Manfred Puche, geboren 1956, Diplom Bauingenieurwesen der TU Berlin, 1982. Zunächst Mitarbeit im einem Technischen Büro der Firma Hochtief, seit 1984 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau tätig.

Gert KÖNIG

Prof. Dr.
TH Darmstadt
Darmstadt,
Bundesrep.



Gert König, geboren 1934, studierte an der TH Darmstadt Bauingenieurwesen und erwarb 1960 das Diplom. Seit 1971 ist er beratender Ingenieur VBI, seit 1972 Prüfenieur für Baustatik. 1975 wurde er an die Technische Hochschule Darmstadt berufen.

Ekkehard FEHLING

Dipl. - Ing.
TH Darmstadt
Darmstadt,
Bundesrep.



Ekkehard Fehling, geboren 1959, studierte an der TH Darmstadt Bauingenieurwesen und erwarb 1983 das Diplom. Seit 1983 Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau.

ZUSAMMENFASSUNG

Die unterschiedlichen Wirkungen von Last und Zwang auf das Tragverhalten von duktilen Stahlbetonbauwerken wird dargestellt. Eine wirtschaftliche und dauerhafte Bemessung hat die vorgestellten Aspekte zu berücksichtigen. Insbesondere bei dicken Bauteilen unter Zwangbeanspruchung kann die Bewehrungsmenge erheblich reduziert, bzw. der Stahldurchmesser vergrößert werden.

SUMMARY

The different effects of load and restraint on the behavior of ductile reinforced concrete members are presented. The aspects of economic and durable design have to be paid attention ; therefore, especially when designing large RC members under restraint, the amount of reinforcement could be reduced, or the maximum bar diameter enlarged.

RÉSUMÉ

L'article présente les différents effets des charges et des contraintes sur le comportement ductile des constructions en béton armé. Un dimensionnement économique et durable doit tenir compte de ces aspects. Dans les éléments de grande épaisseur, sous contrainte, la quantité d'armature peut être réduite ou le diamètre de l'acier passif peut être augmenté.



1. PROBLEMSTELLUNG

Die unbedachte Anwendung der derzeit gültigen Stahlbetonvorschriften führt insbesondere bei dicken Bauteilen mit überwiegender Zwangbelastung zu unwirtschaftlichen Bewehrungsmengen. Gründe hierfür sind :

- Ihr duktileres Tragverhalten auf Zug wird nicht angemessen berücksichtigt,
- Es werden zum Nachweis der Gebrauchsfähigkeit Reißbreitenformeln verwendet, die die Reißmechanik dicker Bauteile nicht berücksichtigen,
- Abschätzbare Vorschädigungen durch Eigenspannungen (Hydratation, Witterungseinfluß) werden nicht angesetzt.

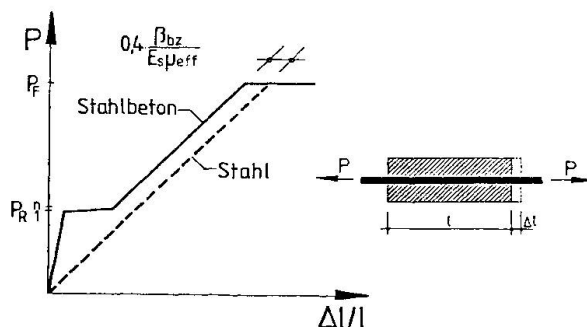
Dem Anwender der Vorschriften bleibt weiterhin verborgen, daß durch Zwang ausgelöste Schnittkräfte mit denen aus Last nicht vergleichbar sind [1].

Betrachtet man die einschlägigen Normenwerke, so behandelt allein der Vernehmlassungsentwurf der SIA 162 Zwang als ein geometrisches Problem.

2. AUSWIRKUNGEN VON ZWANGSBEANSPRUCHUNGEN AUF DIE TRAG- UND GEBRAUCHSFÄHIGKEIT

Duktile Baustoffe wie Stahlbeton weisen im Gegensatz zu ideal elastischen Werkstoffen unter Zwangbelastungen 'signifikante Unterschiede auf :

- Zwängungen haben keinen Einfluß auf die Größe der Traglast, sofern genügend Verformbarkeit gewährleistet wird.
- Die Grenzen einer zulässigen Zwangbelastung werden durch angestrebte Grenzwerte der Verformungen am Einzelbauteil (Reißbreiten) bestimmt. Diese Grenzen sind im Rahmen der Sicherstellung der Gebrauchsfähigkeit einzuhalten.



Beim Stahlbetonstab kommt folgende Besonderheit dazu : Das Last- Verformungs-Verhalten weist zwei "Fließplateaus" auf, von denen das erste durch Erstrißbildung (unterhalb des abgeschlossenen Erstrißbildes) und das zweite durch Fließen der Bewehrung bedingt ist (Fig. 1).

Fig.1 Last- Verformungs-
halten eines zentrisch auf Zug
beanspruchten Stahlbetonstabes

Da in höchstbeanspruchten Bereichen von Stahlbetonbauteilen die Rißschnittgrößen bereits unter Gebrauchslasten erreicht oder überschritten werden, treten hier, anders als bei ideal elastisch – ideal plastischem Werkstoffverhalten, Schnittgrößenumlagerungen und Abbau von Zwangbeanspruchungen schon weit unterhalb der Traglast auf.

Will man diese geschickt ausnutzen, so ist bei der konstruktiven Durchbildung die Mindestforderung zu stellen :

- Die "plastischen" Verformungen des ersten Fließplateaus, die i. w. durch das Öffnen von Rissen entstehen, sollten durch möglichst viele kleine "Beiträge" zustande kommen, um klaffende Risse zu vermeiden. Bei dicken Bauteilen gilt diese Forderung nur für die Bauteiloberfläche, während im Inneren des Bauteils auch breitere Sammelrisse toleriert werden können.

Aus dieser Mindestforderung können konstruktive Regeln abgeleitet werden, die die Bestimmung maximaler Durchmesser der Bewehrung in Abhängigkeit von der erforderlichen Verformung zum Abbau des Zwanges erlauben.

3. BERÜCKSICHTIGUNG VON VORSCHÄDIGUNGEN DURCH EIGENSPANNUNGEN

Eigenspannungen werden an dicken Bauteilen insbesondere durch

- Hydratation
- ungleiches Schwinden
- Wetterwechselwirkungen

hervorgerufen. Ausgehend von einem Riß bauen sich die Zugeigenspannungen am Querschnittsrand wieder auf und erzeugen so ein regelmäßiges Rißbild. Die Rißabstände hängen i.w. von der Querschnittsdicke d und der Güte des verwendeten Betons ab, sie liegen in der Größenordnung von 20 bis 40 cm; die eingelegte Bewehrung hilft mit, die Rißabstände weiter zu verringern [2]. Die Rißbreiten bleiben aufgrund der begrenzten Rißabstände im Mittel unter 0,1 mm. Dadurch ist der wirksame Querschnitt um ca. 30 % reduziert. Eine Mindestbewehrung, die sich nur auf die Größe der Rißlast bezieht, kann in der gleichen Größenordnung reduziert werden.

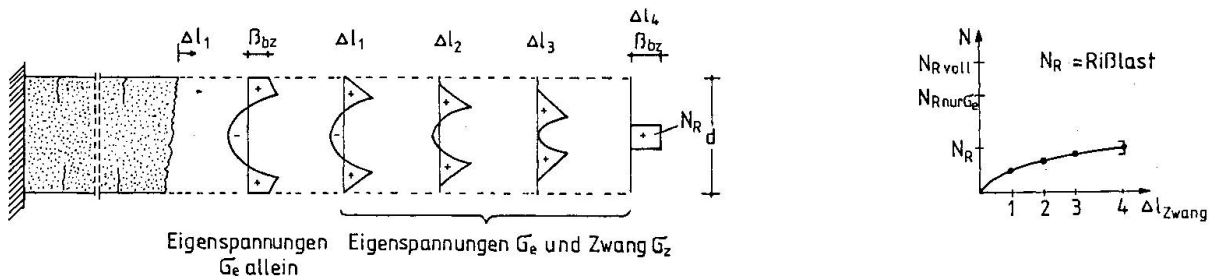


Fig.2 Kombinierte Beanspruchung aus Eigenspannungen und Zwang



Betrachtet man die in der Praxis auftretende kombinierte Beanspruchung aus Eigenspannungen und Zwang, so kann eine Reduktion der Rißlast um bis zu 60 % erreicht werden. Ursache für diese hohe Abminderung ist der aus den Eigenspannungen resultierende Spannungsgradient. Mit zunehmender Zwangverformung wird der Querschnitt, ausgehend von den Randbereichen allmählich aufgerissen; es tritt nie die volle Rißlast auf (Fig. 2).

4. KRITERIEN DER BEMESSUNG VON STAHLBETONBAUTEILEN

Bei der Bemessung von Stahlbetonbauteilen sind überwiegend auf Last und überwiegend auf Zwang beanspruchte Bauteile zu unterscheiden [5].

Überwiegend auf Last beanspruchte Bauteile sind solche, bei denen die Lastschnittgrößen über größere Tragwerksbereiche die Rißschnittgrößen übersteigen. Bei überwiegend auf Zwang beanspruchten Bauteilen erreichen unter kombinierter Beanspruchung aus Last und Zwang die Lastschnittgrößen nicht die Rißschnittgrößen des Querschnitts.

Diese Unterscheidung muß getroffen werden, soll, insbesondere bei dicken Bauteilen, nicht unwirtschaftlich oder nicht dauerhaft konstruiert werden.

4.1 Bemessung von überwiegend auf Last beanspruchten Bauteilen

Hier sorgt die bereits unter Last auftretende Rißbildung dafür, daß ein anschließender Zwang nur kleine Schnittgrößen auslöst. Es genügt hier folglich eine Bemessung auf die Lastschnittgrößen allein. Die Rißbreiten bleiben im Gebrauchszustand im Regelfall ohne Bewehrungserhöhung kontrollierbar, da die Stahldehnung über $\beta_s/E_s \cdot 1.75$ hinaus nicht merklich anwächst. Es genügt, die Bewehrung zur Rißbreitenkontrolle auf die Stahlspannung aus Lasten abzustimmen.

4.2 Bemessung von überwiegend auf Zwang beanspruchten Bauteilen

Falls der Zwang bereits die Rißschnittgrößen erreicht, ist eine Orientierung der Bemessung an den Lastschnittgrößen nicht sinnvoll. Vielmehr muß die einzulegende Bewehrung in der Lage sein, durch Öffnen vieler Risse oder kontrollierte Erstrißbildung mit unschädlichen Rißbreiten, die erforderliche Zwangverformung aufzunehmen. Ein einzelner klaffender Riß unkontrollierter Breite, der sich an einer Schwachstelle bilden kann, muß verhindert werden. Hier kann die günstige Wirkung einer Vorschädigung durch Eigenspannungen, - falls von ihr sicher ausgegangen werden kann - angesetzt werden.

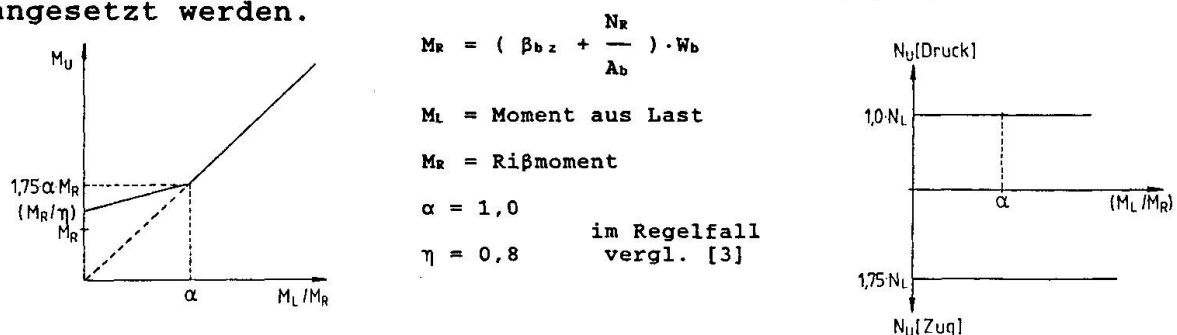


Fig.3 Bemessungsschnittgrößen M_u , N_u in Abhängigkeit von M_L/M_R

5. SICHERSTELLUNG DER GEBRAUCHSFÄHIGKEIT

Gesucht ist der Grenzdurchmesser d_s der Bewehrung, der eine gewünschte Rißbreite w bei Einhalten einer zulässigen Stahlspannung $\sigma_{sII} = \epsilon_{sII} \cdot E_s$ garantiert.

Nach Aufstellen der Gleichgewichts- und Verträglichkeitsbedingungen am Stahl und am Beton kann die Abhängigkeit $d_s - \mu_{eff}$ formuliert werden (Herleitung vergl. [4]) :

$$\begin{aligned} d_s &= 5 \cdot w \cdot (\tau_0 + \tau' \cdot w/4) \cdot \mu_{eff} / \sigma_{be} \cdot \epsilon_{sII} \\ &\approx 5 \cdot w \cdot (\tau_0 + \tau' \cdot w/4) \cdot E_s / \sigma_{sII}^2 \end{aligned} \quad (1)$$

mit w ...zul Rißbreite, μ_{eff} ...Bewehrungsgrad, bezogen auf A_{beff} , ϵ_{sII} ...Stahldehnung im Riß, σ_{be} ...Betonspannung Ende Einleitungsbereich.

Das Verbundgesetz (Schlupf δ , Verbundspannung τ , Anfangswert τ_0 , Steigung τ') wurde linearisiert, der Ansatz

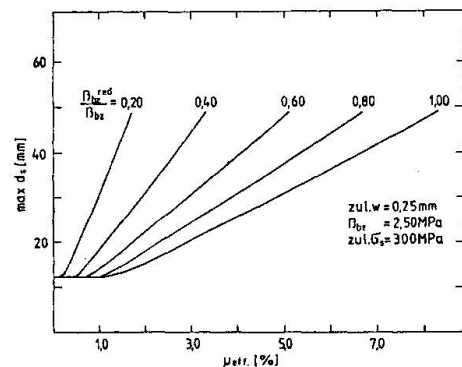
$$\tau = \tau_0 + \tau' \cdot \delta \quad (2)$$

ergibt zufriedenstellende Ergebnisse für die stark streuenden Verbundgesetze. Durch Einhalten der Verträglichkeit am Riß und am Einleitungsende ergibt sich unter Nutzung von (2) die einfache Lösung (1).

Die Kurvenverläufe in Fig.4 sind in zwei Abschnitten zu interpretieren. Für kleine Werte von μ_{eff} greift allein die Bedingung der Beschränkung des Einzelrißbreite (Gl.1)), es ergeben sich, unabhängig von μ_{eff} die Minimalwerte von d_s ; ein Anstieg der Kurven bei kleinen Werten von μ , wie aus frühen Diagrammen bekannt, ist physikalisch nicht möglich, hier wurde irrtümlich stets die volle Betonzugfestigkeit β_{bz} am Ende des Einleitungsbereichs unterstellt. Mit zunehmendem Bewehrungsgrad im Stadium des abgeschlossenen Erstrißbildes, kann β_{bz} an Stelle von σ_{be} geschrieben werden :

$$d_s = 2 \cdot w \cdot (\tau_0 + \tau' \cdot w/4) \cdot \frac{\mu_{eff}}{\beta_{bz} \cdot (\epsilon_{sII} - 0,6 \cdot \beta_{bz} / \mu_{eff} \cdot E_s - \epsilon_{bzu})} \quad (3)$$

Hierbei ist ϵ_{bzu} die 0,6- fache Zugbruchdehnung des Betons.



Es ergeben sich die nahezu linearen Abhängigkeiten nach Fig.5.

Eine Vorschädigung durch Eigen- spannungen wird hier durch eine Verminderung der wirksamen Zug- festigkeit am Rand beschrieben. Es ist jetzt eine wesentlich kleinere Kraft nötig um den Riß zu öffnen, der Bewehrungsgrad kann gesenkt, oder der Stabdurchmesser erhöht werden.

Fig.4 Zusammenhang zwischen Bewehrungsgehalt μ_{eff} und Grenz- durchmesser $max d_s$



Die Ermittlung des effektiven Bewehrungsgrades $\mu_{eff} = \frac{A_s}{A_{eff}}$ erfordert speziell bei dicken Bauteilen besondere Überlegungen. Da es nicht nötig ist, Rißbreiten von Sammelrissen im Bauteilinnern zu begrenzen, braucht hier nur die Randzone kontrolliert zu werden. Tab.1 gibt Angaben für die Dicke d_{eff} eines solchen Randbereichs [5].

$d_{eff} = \frac{A_s}{A_{eff}} / b^{**}$	überwiegend Biegezwang am Zugrand	überwiegend Zugzwang am Rand	
$2 \cdot (d^{**} - h^{**})$	$\leq 20 \text{ cm}^*$	$\leq 20 \text{ cm}^*$	dicke Bau- teile
	$\leq (d-x)/3$ $\leq 20 \text{ cm}^*$ kleinerer Wert maß- gebend	$\leq d/2$ $\leq 20 \text{ cm}^*$ kleinerer Wert maß- gebend	dünne Bau- teile

* bedarf noch der weiteren Absicherung (vergl. [3])
 ** b = Querschnittsbreite, d = Querschnittsdicke, h = Nutzhöhe

Tab.1 Für Zwang maßgebende Dicke d_{eff} zur Rißbreitenbegrenzung dicker Bauteile

LITERATURVERZEICHNIS

1. Menn C., Zwang und Mindestbewehrung. Beton- und Stahlbetonbau. Heft 4 1986.
2. Puche M., Eigenspannungen und Zwang im Massivbau. In: Zum Tragverhalten von Stahlbeton und Spannbeton. Mitteilungen aus dem Institut für Massivbau der TH Darmstadt, Heft 38 1986
3. König G., Zwang, Rißbreitenbegrenzung und Mindestbewehrung an dicken Bauteilen. In: Zum Tragverhalten von Stahlbeton und Spannbeton. Mitteilungen aus dem Institut für Massivbau der TH Darmstadt, Heft 38 1986
4. König, G.; Fehling, E., Crack width control and tension stiffening. In: Darmstadt Concrete, Vol.1 TH Darmstadt, 1986
5. DBV- Merkblatt: Begrenzung der Rißbildung im Stahlbeton- und Spannbetonbau. Deutscher Beton- Verein e.V. Wiesbaden 1986.